

(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) Offenlegungsschrift  
(11) DE 37 37 823 A1

(21) Aktenzeichen: P 37 37 823.6  
(22) Anmeldetag: 6. 11. 87  
(43) Offenlegungstag: 10. 8. 89

(51) Int. Cl. 4:  
**F02B 33/44**  
F 02 D 23/00  
F 02 D 45/00  
F 01 L 7/02

DE 37 37 823 A1

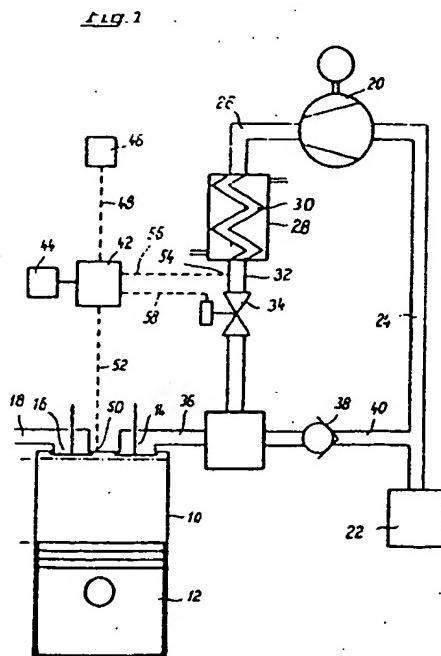
(71) Anmelder:  
Schatz, Oskar, Dr.-Ing., 8035 Gauting, DE  
(74) Vertreter:  
Lamprecht, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 8000 München

(72) Erfinder:  
Schatz, Oskar, Dr.-Ing., 8035 Gauting, DE; Steidele, Thomas, 8000 München, DE; Mehne, Georg, 7162 Gschwendt, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zum Betrieb eines Verbrennungsmotors und Verbrennungsmotor zur Durchführung des Verfahrens

Zur Ladung der mit einem Einlaß- (14) und einem Auslaßventil (16) versehenen Verbrennungsräume (10) eines Verbrennungsmotors der Kolbenbauart dient ein einen kontinuierlichen Druck erzeugender Lader (20), der in einem Speicherraum (28) fördert. In Abhängigkeit von der Zündfrequenz der zugeordneten Verbrennungsräume (10) öffnet und schließt sich ein zwischen dem Speicherraum (28) und einem zum Einlaßventil (14) dieser Verbrennungsräume (10) führenden Einlaßkanal (36) angeordnetes Luftsteuerventil (34). Dessen Phasenlage gegenüber dem Einlaßventil (14) kann in Abhängigkeit von der gewünschten Motorbetriebsweise zwischen einer das Luftangebot aus dem Speicherraum (28) auf den Einlaßbeginn und einer dieses Luftangebot auf das Einlaßende dieser Verbrennungsräume (10) konzentrierenden Stellung verstellt werden, wobei eine jeden Verbrennungsraum mit unverdichteter Ladung versorgende Leitung (40) bei Überdruck auf der Seite des zu versorgenden Verbrennungsraums (10) gesperrt wird.



DE 37 37 823 A1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Verbrennungsmotors der Kolbenbauart, insbesondere eines Hubkolbenmotors, bei dem jeder Verbrennungsraum über mindestens ein in Abhängigkeit von der Kolbenbewegung gesteuertes Einlaßventil mit einem Einlaßkanal verbunden ist, mit einem einen kontinuierlichen Druck erzeugenden, in einen Speicherraum fördernden Lader und einem zwischen dem Speicherraum und jedem Einlaßkanal angeordneten Luftsteuerventil, das sich mit der Zündfrequenz der zugeordneten Verbrennungsräume öffnet und schließt, wobei die Phasenlage der Öffnungsmitte des Luftsteuerventils von der Phasengleichheit mit der Öffnungsmitte des sich jeweils öffnenden Einlaßventils vor dessen Öffnungsmitte verschiebbar ist, sowie einen Verbrennungsmotor zur Durchführung des Verfahrens.

Bei der Entwicklung von Kraftfahrzeugmotoren, insbesondere PKW-Motoren, werden heute im wesentlichen vier Entwicklungsziele angestrebt, nämlich hohe Leistung zur Erzielung hoher Geschwindigkeit, hohe Laufkultur bei niedrigen Drehzahlen, insbesondere hohes Drehmoment und spontane Ansprechen, Umweltfreundlichkeit hinsichtlich Kraftstoffverbrauch, Abgasmissionen und Lärm, sowie niedrige Kosten.

Diese Ziele unterstützen sich in einigen Fällen gegenseitig, beispielsweise wird durch die Reduzierung von Fahrzeugwiderstand und Gewicht sowohl die Höchstgeschwindigkeit erhöht, als auch der Kraftstoffverbrauch und die Abgasabgabe reduziert. Andererseits erhöhen Abgaskatalysatoren den Kraftstoffverbrauch und reduzieren die Spontaneität des Motors und die Höchstleistung.

Von besonderer Bedeutung sind die Maßnahmen zur Reduzierung von Fahrzeuggewicht und Luftwiderstand der Fahrzeuge, weil dadurch ein starker Druck auf Bauvolumen und Gewicht der Motoren ausgeht. Es kommt hinzu, daß aufgrund der schärfer werdenden Konkurrenz ein starker Kostendruck besteht.

Die Lösung der vorstehend aufgezeigten Probleme wird in zunehmendem Maße in der Aufladung der Verbrennungsmotoren gesucht, insbesondere in der Abgas-turboaufladung. Wegen des Interessenkonflikts der Entwicklungsziele und wegen der unterschiedlichen Betriebscharakteristik von Ladegeräten und Verbrennungsmotoren werden nur teiloptimierte Lösungen realisiert. Beispielsweise wird durch die Anwendung des Abgasturboladers in der Regel die Forderung nach niedrigem Motorgewicht und kleinem Bauraum realisiert, ebenso die Forderung nach hoher Leistung und Höchstgeschwindigkeit. Das Potential an möglichen Verbesserungen von Abgasmissionen und Kraftstoffverbrauch wird dabei nicht genutzt und Laufkultur bei niedrigen Drehzahlen geopfert. Das Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen ist dann zu niedrig und der Motor spricht nur mit deutlicher Verzögerung auf Laständerungen an.

Die Entwicklung des Turboladers geht nun dahin, das niedrige Drehmoment bei kleinen Drehzahlen und das verzögerte Ansprechen dadurch zu bekämpfen, daß Lader eingesetzt werden, die ihren optimalen Betriebspunkt bei niedrigen Drehzahlen erreichen, was zu einem Überangebot an Ladernergie bei höheren Drehzahlen führt. Diese Energie wird in Form von gestauten Abgasen oder überschüssiger Ladeluft durch sogenannte Abblasventile ins Freie entlassen. Der Abgasturbolader versorgt nur in einem engen Betriebsbereich den Motor

mit einer passenden Luftmenge, während bei niedrigen Drehzahlen Luftmangel herrscht, weil nicht genügend Laderenergie vorhanden ist und bei höheren Drehzahlen ein Energieüberschuß vorhanden ist, der ungenutzt bleibt. Bei Lasterhöhung herrscht ebenfalls Mangel an Ladernergie.

Alle in nennenswerter Stückzahl produzierten Ladegeräte haben den Nachteil, daß sie nach dem sog. Aufladeprinzip arbeiten. Hierbei wird ein druckkonstanter Luftmassenstrom erzeugt und dem Motor zugeleitet. Beim Öffnen des Einlaßventils eines Motorzyinders fließt die Luft bei annähernd konstantem Druck in den Zylinder und drückt den Kolben nach unten. Hierbei wird von der Luft Arbeit an den Kolben abgegeben, die zuvor im Lader zugeführt worden ist. Die Rückgewinnung dieser Energie ist mit Verlusten verbunden, so daß es unwirtschaftlich ist, der Luft solche Energie zuzuführen, falls diese nicht aus der Rückgewinnung sonst verlorener Abfallenergie gedeckt werden kann. Die der Ladeluft zugeführte Förderarbeit ist um ein Mehrfaches höher als die für die Erzielung der Ladewirkung erforderliche Kompressionsarbeit, wie z.B. in der europäischen Patentanmeldung 01 26 405 erläutert ist. Beispielsweise ist bei einer Luftverdichtung um 25% (Druckerhöhung ca. 0,4 bar) die Förderarbeit beim Aufladeverfahren etwa 10 mal so hoch wie die Kompressionsarbeit. In Betriebsbereichen mit Luftmangel kann deshalb eine Verbesserung dadurch erzielt werden, daß die vorhandene Ladernergie hauptsächlich in Kompressionsarbeit umgesetzt wird und es weitgehend vermieden wird, Förderarbeit zu leisten. Dies ist durch die in der genannten europäischen Anmeldung 01 26 405 beschriebene Nachladung möglich, bei der gegen Ende des Saughubes des Motorkolbens verdichtete Ladeluft in den Motorzyylinder eingebbracht wird. Aus dem SAE-Paper Nr. 851523 "A NEW TYPE OF MILLER SUPERCHARGING SYSTEM FOR HIGH SPEED ENGINES" ist die Möglichkeit bekannt, die Zufuhr der verdichteten Ladeluft auf den Beginn der Saugphase des Motorzyinders zu konzentrieren, was nachfolgend als Vorladung bezeichnet wird. Dabei kann bei vorausgehender Ladeluftkühlung durch Expansion der Luft im Motorzyylinder auf das gewünschte Druckvolumen eine zusätzliche Kühlwirkung erzielt werden, die einen positiven Einfluß auf die Verbrennung hat und sich beim Dieselmotor durch die Reduzierung der Rußbildung und der NOx-Bildung auswirkt und beim Ottomotor durch die Reduzierung der NOx-Bildung und der Klopfneigung. Außerdem ist bei beiden Motorarten wahlweise die Erhöhung der Leistung möglich.

Der vorliegenden Erfindung liegt u.a. die Erkenntnis zugrunde, daß die Vorladung zusätzlich die Möglichkeit bietet, ansonsten verlorene Energie in Form positiver Ladungswechselarbeit dem Motor wieder zuzuführen.

Es gibt verschiedene Ladeverfahren, welche jeweils bei einem gegebenen Betriebszustand unter Berücksichtigung gegebener Betriebswünsche als optimal anzusehen sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, das eingangs genannte Verfahren so auszustalten, daß bei allen Betriebszuständen des Motors je nach dem gewählten Optimierungsziel ein darauf abgestimmtes Ladeverfahren zur Verfügung steht, das unter Wahrung der Zuverlässigkeit und möglichst geringer Kosten ein ausgewogenes Optimum zwischen z.B. der Motorleistung, dem Drehmoment, insbesondere bei niedrigen Drehzahlen, sowie dem Kraftstoffverbrauch und dem Schadstoffausstoß, unter Berücksichtigung des jeweiligen Optimierungs-

ziels erreicht, sowie einen Verbrennungsmotor zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen.

Die Lösung dieser Aufgabe besteht nach der Erfahrung darin, daß die Phasenlage des Luftsteuerventils gegenüber dem Einlaßventil in Abhängigkeit von der gewünschten Motorbetriebsweise zwischen einer das Luftangebot aus dem Speicherraum auf den Einlaßbeginn konzentrierenden und einer dieses Luftangebot auf das Einlaßende konzentrierenden Grenzstellung versteht wird und daß eine jeden Verbrennungsraum mit unverdichteter Ladung versorgende Leitung bei Überdruck auf der Seite des Verbrennungsraumes gesperrt wird.

Dadurch wird es möglich, neben dem Ladeverfahren nach dem sogenannten Aufladeprinzip sowohl die Vorladung mit der Zufuhr der verdichtenen Ladeluft zu Beginn der Saugphase, als auch die Nachladung mit der Zufuhr verdichteter Ladeluft am Ende der normalen Saugphase durchzuführen.

Es besteht die Möglichkeit, bei Dieselmotoren bei Treillast den Motor im Nachladebereich zu betreiben, wodurch aufgrund des großen Luftangebots die Rußbildung reduziert wird, ohne daß die mit der Aufladung verbundene Steigerung des Kraftstoffverbrauchs eintritt.

Vorzugsweise entspricht die Öffnungsduer des Luftsteuerventils maximal etwa der Öffnungsduer des Einlaßventils bzw. der Einlaßventile.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann die Öffnungsduer des Luftsteuerventils mit zunehmender Phasenabweichung zwischen Luftsteuerventil und Einlaßventil verkürzt werden, um die Konzentration des Luftangebots aus dem Speicherraum auf den Einlaßbeginn zu fördern.

Zur Durchführung des Verfahrens dient ein Verbrennungsmotor der Kolbenbauart mit mindestens einem Verbrennungsraum, der über mindestens ein Einlaßventil mit einem Einlaßkanal verbunden ist, mit einem einen kontinuierlichen Druck erzeugenden Lader, dessen Druckseite mit einem Speicherraum verbunden ist, mit einem Luftsteuerventil zwischen dem Speicherraum und jedem Einlaßkanal, dessen Antrieb so ausgelegt ist, daß er sich mit der Zündfrequenz der zugeordneten Verbrennungsräume öffnet und schließt und mit einer Einrichtung zur Änderung der Phasenlage von Einlaßventil und Luftsteuerventil durch Verlagerung der Öffnungsmitte des Luftsteuerventils von Phasengleichheit mit der Öffnungsmitte des sich jeweils öffnenden, zugeordneten Einlaßventils vor dessen Öffnungsmitte, wobei dieser Verbrennungsmotor erfundungsgemäß so ausgebildet ist, daß die Einrichtung zur Änderung der Phasenlage geeignet ist, die Öffnungsmitte des Luftsteuerventils auch hinter die Öffnungsmitte zu verlagern und daß jeder Verbrennungsraum über einen den Lader, den Speicherraum und das Luftsteuerventil umfassenden Verdichterzweig umgehenden, durch ein Ventil absperrbaren Kanal mit unverdichteter Ladung versorgbar ist, wobei vorzugsweise jeder Einlaßkanal mit einem den Verdichterzweig umgehenden Kanal (40) verbunden ist.

Vorzugsweise besteht die Einrichtung zur Änderung der Phasenlage aus einem Rechner, dessen Eingänge mit einem Programmspeicher und Sensoren zur Ermittlung von Betriebskennwerten des Motors und/oder mindestens einem Steuerorgan zur Eingabe von Steuerbefehlen und dessen Ausgang mit einer Stellvorrichtung für das Luftsteuerventil verbunden ist, wobei der Programmspeicher nach einer besonders zweckmäßigen Ausführungsform auswählbare Programme enthält.

Hierdurch wird es möglich, daß der Rechner entsprechend dem durch die Programmwahl vorbestimmten Optimierungsziel und unter Berücksichtigung des durch die Sensoren ermittelten, augenblicklichen Betriebszustands des Motors das Ladeverfahren ausgewählt, das unter Berücksichtigung des über das Steuerorgan, z.B. das Fahrpedal eines Kraftfahrzeugs, eingegebenen, augenblicklichen Steuerbefehls diesem Optimierungsziel am besten entspricht.

10 Vorzugsweise sind die Sensoren am Verbrennungsraum und/oder am Speicherraum angeordnet und geeignet, den Motorbetriebszustand bzw. Druck und Temperatur im Speicherraum zu ermitteln.

Vorzugsweise sind die Einlaßseite des Laders und der ihn umgebende Kanal stromauf von dem diesen Kanal sperrenden Ventil miteinander verbunden.

Um einen möglichst gleitenden Übergang zwischen den verschiedenen Ladeverfahren zu ermöglichen, kann die Phasenlage von Einlaßventil und Luftsteuerventil stufenlos verstellbar sein.

20 Die Öffnungsduer des Luftsteuerventils entspricht vorzugsweise maximal der Öffnungsduer des Einlaßventils, wie es für die herkömmliche Aufladung erforderlich ist.

25 Eine sehr vorteilhafte Ausführungsform besteht darin, daß stromauf vom Luftsteuerventil ein Ladeluftkühler angeordnet ist, wodurch Leistungserhöhungen und Abgasverbesserungen möglich werden, was bereits vorstehend im Zusammenhang mit der Konzentration des

30 Luftangebots aus dem Speicher auf den Einlaßbeginn erläutert wurde. Die Vorteile der Ladeluftkühlung können auch genutzt werden, wenn der gewünschte Enddruck im Motorzylinder bei der Saugphase gleich dem Umgebungsdruck ist. Wird in einem solchen Betriebszustand entweder aus Gründen der Nutzung bzw. der Rückgewinnung vorhandener Laderantriebsenergie oder aus Gründen der Verbesserung der Verbrennung durch stärkere Abkühlung das Luftsteuerventil so früh geschlossen, daß der Druck im Motorzylinder vor Erreichen des unteren Toipunkts unter den Atmosphärendruck sinkt, kann über den den Verdichterzweig umgehenden Kanal atmosphärische Luft angesaugt werden.

35 Diese Betriebsweise kann sowohl bei Otto- als auch bei Dieselmotoren zur Reduzierung von Abgasemissionen und Kraftstoffverbrauch von Vorteil sein, aber auch zur Erhöhung der Motorleistung, ohne den Motor mechanisch und thermisch stärker als bei reinem Saugbetrieb zu belasten.

40 Eine besonders einfache Ausführungsform besteht darin, daß der den Verdichterzweig umgehende Kanal ein Richtungsventil enthält, das nur eine Strömung in Richtung auf das Einlaßventil gestattet. Dadurch wird immer dann atmosphärische Luft in den Einlaßkanal gesaugt, wenn dort ein Unterdruck herrscht.

45 Es kann aber auch eine Betriebsweise erwünscht sein, bei welcher die oben erwähnte Konzentration des Luftangebots aus dem Speicherraum auf den Einlaßbeginn, nachfolgend auch kurz Vorladung genannt, stattfindet und daß dann bei geschlossenem Luftsteuerventil im

50 Verlauf des Saughubes des Motorkolbens eine Absenkung des Druckes im Motorzylinder unter den Atmosphärendruck stattfinden soll, um durch Expansion der Ladung eine Abkühlung zu bewirken. Um wahlweise auch eine derartige Betriebsweise zu ermöglichen, ist es

55 zweckmäßig, für den den Verdichterzweig umgehenden Kanal ein steuerbares Ventil vorzusehen, welches vorzugsweise in Abhängigkeit von der Stellung des Luftsteuerventils sperrbar ist.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist jedem Einlaßkanal ein die Verbindung zu dem den Verdichterzweig umgehenden Kanal sperrendes Ventil zugeordnet, wobei zur Schadraumbegrenzung vorzugsweise das dem Einlaßkanal zugeordnete, die Verbindung zu dem den Verdichterzweig umgehenden Kanal sperrende Ventil, das zugeordnete Luftsteuerventil und das Einlaßventil bzw. die Einlaßventile der zugeordneten Verbrennungsräume eng benachbart angeordnet sind.

Dabei kann nach einer weiteren zweckmäßigen Ausbildung der den Verdichterzweig umgehende Kanal ein gemeinsam mit dem Luftsteuerventil betätigbares Ventil enthalten, wobei beide Ventile auch zu einem Mehrwegeventil vereinigt sein können.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung besteht bei der Ausführungsform mit Richtungsventil darin, daß das Mehrwegeventil einen von einem Ventilgehäuse umschlossenen, als Rotationskörper ausgebildeten und in Abhängigkeit von der Motorkurbelwelle kontinuierlich antreibbaren, mit einem sich gegen das Gehäuse öffnenden Verbindungskanal versehenen Rotor umfaßt, wobei dem Verbindungskanal im Ventilgehäuse in Umlaufrichtung aufeinanderfolgende Anschlüsse für den Speicherraum und den Einlaßkanal zugeordnet sind.

Bei der Ausführungsform mit einem steuerbaren Ventil in dem den Verdichterzweig umgehenden Kanal, das mit dem Luftsteuerventil zu einem Mehrwegeventil vereinigt ist, besteht eine vorteilhafte Ausgestaltung darin, daß das Mehrwegeventil einen von einem Ventilgehäuse umschlossenen, als Rotationskörper ausgebildeten und in Abhängigkeit von der Drehung der Motorkurbelwelle kontinuierlich antreibbaren, mit einem sich gegen das Gehäuse öffnenden Verbindungskanal versehenen Rotor umfaßt, wobei dem Verbindungskanal im Ventilgehäuse in Umlaufrichtung aufeinanderfolgende Anschlüsse für den Speicherraum, den Einlaßkanal und den den Verdichterzweig umgehenden Kanal zugeordnet sind und der Anschluß für den den Verdichterzweig umgehenden Kanal ein Absperrorgan enthält. Dieses Absperrorgan kann vorzugsweise als Richtungsventil zur Sperrung einer Rückströmung ausgebildet sein.

Steuert das Luftsteuerventil nur den Eintritt der verdichtenen Ladeluft in den Einlaßkanal, so kann durch eine verstellbare Öffnungskante der Verbindung zwischen Speicherraum und Einlaßkanal der Ladebeginn und durch eine Verstellbarkeit der Schließkante dieser Verbindung das Ladeende beeinflußt werden. Zweckmäßigerweise sind die Öffnungskante und die Schließkante dieser Verbindung unabhängig voneinander verstellbar.

Bei der Ausführungsform als Mehrwegventil mit Anschlüssen für den Speicherraum, den Einlaßkanal und den den Verdichterzweig umgehenden Kanal kann es zweckmäßig sein, die Schließkante der Verbindung zwischen dem den Verdichterzweig umgehenden Kanal und dem Einlaßkanal verstellbar auszubilden, um den Saugschluß zu steuern und die Öffnungskante dieser Verbindung verstellbar auszubilden, um den Saugbeginn beeinflussen zu können.

Bei den Ventilbauarten mit einem kontinuierlich umlaufenden Rotor besteht eine weitere zweckmäßige Ausgestaltung darin, daß die Phasenlage der Ventilöffnungszeiten gegenüber der Kurbelwelle durch Verstellung des Rotors relativ zum Ventilgehäuse veränderbar ist.

Eine andere zweckmäßige Ausführungsform unter Verwendung eines Mehrwegeventils besteht darin, daß

zwei als Rotationskörper ausgebildete und in Abhängigkeit von der Drehung der Motorkurbelwelle kontinuierlich antreibbare Rotoren jeweils mit einem Verbindungskanal versehen und drehbar in einem Ventilgehäuse gelagert sind, wobei ein Verbindungskanal in seiner Öffnungsstellung Anschlüsse für den Speicherraum und den Einlaßkanal und der andere Verbindungskanal in seiner Öffnungsstellung einen Einlaß und einen Auslaß für den den Verdichterzweig umgehenden Kanal

miteinander verbindet, daß die Phasenlage der Rotoren zueinander veränderbar ist und daß die Phasenlage der Ventilöffnungszeiten gegenüber der Motorkurbelwelle durch eine Verstellung der Rotoren relativ zum Ventilgehäuse veränderbar ist.

Vorzugsweise ist die Maximaldrehzahl des Rotors bzw. der Rotoren derart bemessen, daß auf zwei Takte des zugeordneten Motorzylinders bzw. der zugeordneten Motorzyylinder jeweils eine Ventilöffnung entfällt.

Nach einer besonders zweckmäßigen Ausführungsform kann die Drehzahl des Rotors bzw. der Rotoren nach Wahl stufenweise halbiert werden, wodurch die Möglichkeit besteht, die Motorzyylinder nicht bei jedem Arbeitsspiel zu laden, sondern die Ladung nur in dem Leistungsbedarf angepaßten Intervallen durchzuführen.

Bei einem Vierzylinder-Reihen-Viertaktmotor besteht eine besonders einfache Ausführungsform darin, daß drei Einlaßkanäle vorgesehen sind, von denen ein Einlaßkanal den beiden mittleren Zylindern gemeinsam zugeordnet ist. Durch eine derartige Ausführungsform kann ein Steuerventil und gegebenenfalls ein separates Richtungsventil eingespart werden, weil einerseits von einem den beiden mittleren Zylindern gemeinsam zugeordneten Ventil nur verhältnismäßig kurze Wege zu den beiden Zylindern zurückzulegen sind und andererseits die Saugphasen beider Zylinder nicht unmittelbar aufeinanderfolgen.

Eine andere vorteilhafte Ausgestaltung besteht bei einer Bauform mit Richtungsventil in dem den Verdichterzweig umgehenden Kanal darin, daß die Luftsteuerventile zumindest einer Anzahl von Einlaßkanälen eines Motors einen gemeinsamen, rohrförmigen, in einem rohrförmigen Gehäuse drehbar gelagerten, in Abhängigkeit von der Kurbelwellendrehung antreibbaren Rotor besitzen, dessen Innenraum mit dem Speicherraum verbunden ist, daß am Gehäuse in axialer Richtung gegeneinander versetzt die Einlaßkanäle ausmünden, daß jedem Einlaßkanal am Rotor eine Ventilöffnung zugeordnet ist, wobei diese Ventilöffnungen entsprechend der Zündfolge in Umfangsrichtung versetzt sind, und daß die Phasenlage des Rotors relativ zur Kurbelwelle verstellbar ist. Bei dieser Ausführungsform, bei der vorzugsweise der Zutritt der verdichtenen Ladeluft zu allen Einlaßkanälen eines Motors durch einen gemeinsamen Rotor gesteuert wird, steht der Innenraum des Rotors ständig mit dem Speicherraum über nur einen einzigen Anschluß in Verbindung, wodurch sich eine besonders einfache Anordnung ergibt. Die vom Gehäuse in Richtung auf die Motorzyylinder verlaufenden Einlaßkanäle sind jeweils gesondert mit dem den Verdichterzweig umgehenden Kanal verbunden.

Die Vorteile des erfundungsgemäßen Verfahrens können auch erreicht werden, wenn die Leitung für unverdichtete Ladung nicht in den vom Lader zum Verbrennungsraum führenden Lusteinlaßkanal einmündet, sondern der verdichtenen Ladeluft und der unverdichteten Ladeluft getrennte Einlaßkanäle mit Einlaßventilen am Verbrennungsraum, d.h. am Motorzyylinder, zugeordnet sind. Dabei ist im Einlaßkanal für die verdichtete La-

dung ein Luftpunktventil angeordnet, während im Einlaßkanal für die unverdichtete Ladung ein Ventil angeordnet ist, welches sich bei Überdruck auf der Seite des Verbrennungsraums schließt, so daß ein Entweichen der dem Verbrennungsraum über den anderen Einlaßkanal zugeführten, verdichteten Ladung verhindert wird. Wegen des bei getrennten Einlaßkanälen erforderlichen zusätzlichen Einlaßventils am Motorzylinder wird jedoch der beschriebenen Lösung mit einem gemeinsamen Einlaßkanal für unverdichtete und verdichtete Ladung der Vorzug gegeben.

Anhand der nun folgenden Beschreibung der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele der Erfindung wird diese näher erläutert.

Es zeigt:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfundungsgemäß ausgebildeten Verbrennungsmotors, von welchem nur ein Zylinder gezeigt ist,

**Fig. 2** eine schematische Darstellung einer anderen Ausführungsform eines erfundungsgemäß ausgestatteten Verbrennungsmotors am Beispiel eines Vierzylindermotors,

**Fig. 3** eine **Fig. 2** ähnliche schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform eines erfundungsgemäß ausgestatteten Verbrennungsmotors am Beispiel eines Vierzylinder-Reihen-Motors,

**Fig. 4** eine Ventilanordnung mit einem vom Luftsteuerventil getrennten Richtungsventil für die Zufuhr unverdichteter Ladung in schematischer Darstellung,

**Fig. 5** eine der **Fig. 4** ähnliche Darstellung einer Ausführungsform, bei der die Zufuhr verdichteter und unverdichteter Ladung durch ein gemeinsames Ventil gesteuert wird,

**Fig. 6** eine Variante zu dem in **Fig. 4** dargestellten Luftsteuerventil,

**Fig. 7** eine Variante zu dem in **Fig. 5** dargestellten Luftsteuerventil,

**Fig. 8** eine schematische Darstellung zur Änderung der Phasenlage des in **Fig. 5** gezeigten Luftsteuerventils gegenüber der Motorkurbelwelle,

**Fig. 9** einen schematischen Axialschnitt durch eine andere Ausführungsform eines Luftsteuerventils,

**Fig. 10** eine schematische Darstellung der Stellung des in **Fig. 9** gezeigten Luftsteuerventils zum Zeitpunkt der Öffnung des Motoreinlaßventils und bei Vorladung,

**Fig. 11** die Situation zum gleichen Zeitpunkt bei Aufladung,

**Fig. 12** die entsprechende Situation bei Nachladung,

**Fig. 13** einen schematischen Axialschnitt durch eine weitere Ventilanordnung für einen Vierzylindermotor und

**Fig. 14** einen Schnitt nach der Linie XIV-XIV in **Fig. 13**.

In **Fig. 1** ist ein Zylinder 10 eines Viertakt-Verbrennungsmotors mit einem hin- und hergehend beweglichen Kolben 12 dargestellt. Der Zylinder 10 besitzt ein Einlaßventil 14 und ein Auslaßventil 16, an welches sich eine Abgasleitung 18 anschließt. Durch das Abgas ist ein Turbolader 20 antreibbar, welchem zu verdichtende Luft über ein Luftfilter 22 und eine Leitung 24 zugeführt wird. Die vom Turbolader 20 verdichtete Luft gelangt über eine Leitung 26 zu einem Speicher 28, der hier in Kombination mit einem Ladeluftkühler 30 dargestellt ist. Eine Leitung 32 führt vom Speicher 28 zu einem Luftsteuerventil 34, welches geeignet ist, den Zutritt der verdichteten Ladeluft aus dem Speicher 28 in den zum Einlaßventil 14 führenden Einlaßkanal 36 zu steuern.

Der Einlaßkanal 36 ist über eine ein Richtungsventil 38 enthaltende Zweigleitung 40 direkt mit der vom Luftfilter 22 zum Lader 20 führenden Luftleitung 24 verbunden, wobei das Richtungsventil, beispielsweise eine Rückschlagklappe, derart angeordnet ist, daß eine den Turbolader 20 umgehende Strömung nur vom Luftfilter 22 zum Einlaßkanal 36 stattfinden kann. Damit auch Motorbetriebszustände berücksichtigt werden können, bei denen eine Zufuhr von Saugluft unzweckmäßig ist, kann die Leitung 40 auch für die Dauer eines derartigen Betriebszustandes vollständig absperrbare sein, wozu entweder ein separates Absperrventil vorgesehen werden oder das Richtungsventil 38 in Sperrstellung blockierbar sein kann.

Die Betätigung des Luftsteuerventils 34 erfolgt in Abhängigkeit von einem Rechner 42, dem ein Programmspeicher 44 zugeordnet ist, so daß die Möglichkeit besteht, den Rechner 42 mit einem ausgewählten Programm verschiedener, für die jeweiligen Betriebsbedingungen vorrätig gehaltener Programme zu betreiben. Der Rechner 42 verarbeitet dabei sowohl automatisch zugeführte Informationen über den Betriebszustand des Motors, als auch externe Steuerbefehle, wie sie beispielsweise bei einem Kraftfahrzeug durch die Stellung des Fahrpedals eingegeben werden können. In der schematischen Darstellung der **Fig. 1** bezeichnet 46 ein derartiges Fahrpedal, welches über eine Verbindung 48 an den Rechner 42 angeschlossen ist. 50 bezeichnet einen Sensor am Motor, der über eine Verbindung 56 an den Rechner 42 angeschlossen ist. Der Rechner 42 kann auf diese Weise nicht nur mit Informationen über den Zustand im Bereich des Motorverbrennungsraums, sondern auch beispielsweise über Druck und Temperatur der gespeicherten Ladeluft informiert werden.

Der Rechner 42 kann benutzt werden, um die Motorbetriebsweise gemäß unterschiedlicher Optimierungsziele zu steuern und zwar je nach Auswahl des einen oder anderen Programms aus dem Programmspeicher 44. In Abhängigkeit von den dem Rechner 42 zugeführten Informationen wird der Rechner dabei die Steuерzeiten des Luftsteuerventils 34 so beeinflussen, daß das Angebot verdichteter Ladeluft entweder auf den Einlaßbeginn des Motorzyinders 10 konzentriert wird, was als Vorladung bezeichnet wird oder daß die verdichtete Ladeluft während der gesamten Öffnungsduer des Einlaßventils 14 des Motorzyinders 10 zugeführt wird, was der bekannten Aufladung entspricht. Bei der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform wird dabei das Richtungsventil 38 durch den bei der Öffnung des Luftsteuerventils 34 im Einlaßkanal 36 herrschenden Überdruck geschlossen, so daß ein Entweichen der verdichteten Ladeluft verhindert wird. Andererseits wird unverdichtete Luft über das Richtungsventil 38 angesaugt, wenn der Motorkolben 12 bei geöffnetem Einlaßventil 14 seinen Saughub ausführt und das Luftsteuerventil 34 geschlossen ist.

In **Fig. 2** ist dargestellt, daß bei einem Vierzylindermotor jedem der vier Zylinder 10a, 10b, 10c und 10d jeweils ein Luftsteuerventil 34a, 34b, 34c und 34d zugeordnet ist, wobei in diesem Fall die Luftsteuerventile 34a bis 34d als Dreiegeventile ausgebildet sind, deren jedes zwei Einlässe besitzt, die einerseits mit der vom Turbolader 20 kommenden Leitung 32 für verdichtete Luft und andererseits über jeweils eine Zweigleitung 40a bis 40d mit der zum Lader 20 führenden Leitung 24 für unverdichtete Luft verbunden sind, und einen Auslaß, der jeweils mit einem, jeweils einem Zylinder zugeordneten Einlaßkanal 36a bis 36d verbunden ist.

In Fig. 2 wurde zur Vereinfachung der Darstellung der Speicher 28 mit dem Ladeluftkühler 30 zwischen dem Turbolader 20 und den Luftsteuerventilen 34a bis 34d nicht dargestellt.

Da bei der Zündfolge 1-3-4-2 eines Vierzylinder-Reihen-Motors die Arbeitsspiele der beiden mittleren Zylinder 2 und 3 nicht unmittelbar aufeinanderfolgen, kann ihnen ein gemeinsames Luftsteuerventil 34e zugeordnet werden, wie das in Fig. 3 gezeigt ist, zumal von diesem der Weg zu den beiden mittleren Zylindern über einen gemeinsamen Einlaßkanal 36e relativ kurz ist. Zweigleitungen 40a, 40e und 40d sind über Rückschlagklappen 38a, 38e und 38d verbunden. Ein entsprechender Anschluß der Zweigleitungen 40a bis 40d kann auch bei der Bauform nach Fig. 2 alternativ gewählt werden. Der Rotor 62 des Ventils 34c entspricht der in Fig. 7 gezeigten Bauform mit zwei Ausschnitten 64 und 65.

Die Ausführungsform nach Fig. 3 zeigt eine eng benachbarte Anordnung der Motoreinlaßventile 14a und 14d bzw. der Gruppe der Einlaßventile 14b und 14c zu den zugeordneten Luftsteuerventilen 34a, 34d und 34e, sowie Rückschlagklappen 38a, 38d und 38e, wodurch die den einzelnen Motorzylindern zugeordneten Schadräume auf ein Minimum reduziert werden können und sich die Genauigkeit verbessert, mit der der Ladungswechsel gesteuert werden kann.

Die in Fig. 1 gezeigte Bauform mit einem Richtungsventil 38 in einer unmittelbar in den Einlaßkanal 36 ausmündenden Zweigleitung 40 ist in Fig. 4 in einer etwas anderen Darstellung gezeigt, wobei die Funktion des Luftsteuerventils 34 näher erläutert werden soll. Zur Vereinfachung der Darstellung ist auch hier der Speicher 28 mit Ladeluftkühler 30 zwischen dem Lader 20 und dem Luftsteuerventil 34 weggelassen. Bei ausreichendem Leitungsvolumen könnte auch die Leitungsverbindung zwischen dem Lader 20 und dem Luftsteuerventil 34 als Speicherraum dienen.

Das in Fig. 4 gezeigte Luftsteuerventil 34 besitzt ein Ventilgehäuse 60, in welchem ein in Abhängigkeit von der Drehung der Motorkurbelwelle kontinuierlich angetriebener Rotor 62 umläuft. Dieser Rotor 62 ist als Rotationskörper ausgebildet und besitzt einen sektorähnlichen Ausschnitt 64, welcher bei geeigneter Winkelstellung des Rotors 62 eine Strömung zwischen dem Einlaßschlitz 66 und dem Auslaßschlitz 68 gestattet. Wie in Fig. 4 deutlich zu sehen ist, wird die Verbindung zwischen dem Einlaßschlitz 66 und dem Auslaßschlitz 68 aufrecht erhalten, während der Rotor 62 eine Drehung um etwa 90° durchführt. Wird der Rotor 62 mit der halben Drehzahl der Motorkurbelwelle angetrieben, so entsprechen diese 90° einer Kurbelwellendrehung von 180°. Bei entsprechender Phasenlage des Rotors 62 zur Motorkurbelwelle kann die Verbindung zwischen dem Einlaßkanal 36 und der vom Lader 20 verdichteten Luft während eines vollen Saughubs des Motorkolbens aufrecht erhalten werden, wie dies für die übliche Aufladung erforderlich ist. Verändert man die Phasenlage des Rotors 62 gegenüber der Motorkurbelwelle gegenüber der der Aufladung zugeordneten Phasenlage in der Weise, daß der Rotor 62 der Kurbelwelle vorausläuft, beispielsweise so, daß die Öffnungsmitte des Luftsteuerventils 34 mit dem Öffnungsbeginn des Einlaßventils 14 zusammenfällt, so ergibt sich die sogenannte Vorladung, bei welcher das Luftangebot des Laders 20 auf den Einlaßbeginn des Einlaßventils 14 konzentriert wird. Das Luftsteuerventil unterbricht die Verbindung des Einlaßkanals 36 mit der vom Lader 20 verdichteten Ladeluft.

geraume Zeit vor dem Schließen des Einlaßventils 14,

beispielsweise etwa in der Mitte des Saughubs des Kolbens 12. Bei der Konstruktion nach den Fig. 1 und 4 wird der dann im Einlaßkanal 36 auftretende Unterdruck das Richtungsventil 38 öffnen, so daß unverdichtete Luft über die Zweigleitung 40 in den Einlaßkanal 36 und durch das Einlaßventil 14 in den Motorzylinder 10 angesaugt wird, bis sich das Einlaßventil 14 schließt.

Ändert man die Phasenlage des Rotors 62 gegenüber der Kurbelwelle in entgegengesetzter Richtung, so wird sich die Verbindung zwischen der verdichteten Ladeluft und dem Einlaßkanal 36 über das Luftsteuerventil 34 erst einige Zeit nach dem Öffnen des Einlaßventils 14 öffnen, so daß der Kolben 12 zunächst über das Richtungsventil 38 unverdichtete Luft ansaugt, bevor sich gegen das Ende des Saughubs des Kolbens 12 das Luftsteuerventil 34 öffnet und zusätzlich zu der bis dahin angesaugten Luft vom Lader 20 verdichtete Luft in den Zylinder 10 einströmt. Beispielsweise kann die Phasenverschiebung so groß gewählt werden, daß sich das Luftsteuerventil 34 erst kurze Zeit vor dem Schließen des Einlaßventils 14 öffnet, so daß selbst bei einer relativ großen Laderleistung, wie sie im Bereich niedriger Drehzahlen zu erwarten ist, die Ladernergie in Kompressionsarbeit umsetzen läßt.

Bei der Konstruktion nach den Fig. 1 und 4 wird Luft über die Zweigleitung 40 stets dann angesaugt, wenn das Einlaßventil 14 geöffnet und das Luftsteuerventil 34 geschlossen ist. Im Falle der Vorladung kann es aber wünschenswert sein, nach dem Schließen des Luftsteuerventils 34 das Ansaugen von Außenluft über die Zweigleitung 40 zu verhindern, um die im Motorzylinder 10 befindliche, vom Lader stammende, verdichtete Luft durch Expansion abzukühlen. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, daß man bei der in Fig. 4 gezeigten Anordnung in der Zweigleitung 40 ein Absperrventil anordnet, welches bei dieser Betriebsweise geschlossen wird.

Die Fig. 5 zeigt eine Variante, bei welcher die Zweigleitung 40 nicht unmittelbar in den Einlaßkanal 36, sondern über einen Schlitz 70 an das Ventilgehäuse 60 angeschlossen ist und das Öffnen und Schließen der Zweigleitung 40 auf diese Weise durch den Rotor 62 gesteuert wird. Das Richtungsventil 38 in der Zweigleitung 40 entfällt bei dieser Konstruktion. Wie man aus Fig. 5 entnehmen kann, befindet sich die Öffnungsphase der Zweigleitung 40 gegenüber dem Einlaßkanal 36 jeweils unmittelbar nach der Öffnungsphase für die durch den Lader 20 verdichtete Ladeluft. Im Falle der Aufladung ist während der Öffnungsphase der Zweigleitung 40 das Einlaßventil 14 am Motor wieder geschlossen, so daß nur verdichtete Luft in den Zylinder 10 gelangt. Im Falle der Vorladung bleibt die Verbindung zwischen der Zweigleitung 40 und dem Einlaßkanal 36 geschlossen, wenn das Luftsteuerventil 34 die zur Zufuhr verdichteter Ladeluft dienende Verbindung zwischen dem Schlitz 66 und dem Schlitz 68 unterbrochen hat. Es kann also bei dieser Ausführungsform die Vorladung nur in Verbindung mit der Expansionskühlung durchgeführt werden.

Die Fig. 6 zeigt eine Variante zu dem in Fig. 4 dargestellten Luftsteuerventil, welches nur die beiden Anschlüsse 66 für die verdichtete Ladeluft in Richtung auf den Einlaßkanal 36 aufweist. Innerhalb des Ventilgehäuses 60 befindet sich bei dieser Variante ein zum Ventilgehäuse 60 konzentrisch angeordneter äußerer Blendenring 100 und ein innerer Blendenring 102. In den beiden Blendenringen 100 und 102 sind dem Schlitz 66 im Gehäuse 60 Fenster 104 bzw. 106 und dem Schlitz 68

Fenster 108 bzw. 110 zugeordnet. Die beiden Blendenringe 100 und 102 können sowohl unabhängig voneinander, als auch in gleicher Bewegungsrichtung jeweils gemeinsam miteinander verstellt werden, was durch die Stellorgane 112 und 116 schematisch angedeutet ist. Das Stellorgan 112 des äußeren Blendengangs 100 ist durch einen Schlitz 114 im Ventilgehäuse 60 nach außen geführt. Das Stellorgan 116 am inneren Blendengang 102 durchquert einen Schlitz 118 am äußeren Blendengang 100 und einen Schlitz 120 im Ventilgehäuse 60.

Die Fenster 108 und 110 erstrecken sich über einen ausreichend großen Winkel, um in jeder Stellung der Blendengänge 100 und 102 die entgegen der Rotordrehrichtung gelegene Kante des zum Einlaßkanal 36 führenden Schlitzes 68 freizuhalten. Die in Rotordrehrichtung gelegene Kante des Fensters 110 ist außerdem so angeordnet, daß sie ebenfalls stets den Schlitz 68 freihält: Die in Drehrichtung des Rotors 62 gelegene, als Schließkante 123 dienende Begrenzung des Fensters 108 und die entgegen der Rotordrehrichtung gelegene, als Öffnungskante dienende Begrenzung 122 des Fensters 106 im inneren Blendengang 102 dienen zur Verstellung der Betriebsweise zwischen Vor-, Auf- und Nachladung. Wird die Schließkante 123 in den Bereich des Schlitzes 68 bewegt, schließt das Luftsteuerventil 34 vor dem Motoreinlaßventil 14, was der Vorladung entspricht. Wird die Öffnungskante 122 in den Bereich des Schlitzes 66 bewegt, öffnet sich das Luftsteuerventil 34 später, was der Nachladung entspricht. Die in Rotor-drehrichtung gelegenen Begrenzungen der Fenster 104 und 106 sind so angeordnet, daß sie den Öffnungsquer-schnitt des Schlitzes 66 nicht beeinflussen. Man könnte die Öffnungskante 122 und die Schließkante 123 auch auf einem einzigen Blendengang anordnen und jeweils gemeinsam verstellen, wobei dann aber für diesen einen Befindung der doppelte Stellweg erforderlich wäre. Die Bewegung des Rotors 62n wird entweder durch direkten Antrieb von der Motorkurbelwelle oder durch Antrieb von der Motornockenwelle abgeleitet.

Die Fig. 7 zeigt eine Variante zu dem in Fig. 5 dargestellten Luftsteuerventil 34, bei welchem auch die Zweigleitung 40 an das Luftsteuerventil 34 angeschlossen ist. Die Öffnungskante 72 des Schlitzes 66, die Öffnungskante 74 des Schlitzes 68 und die Schließkante 76 des Schlitzes 70 können dabei durch unabhängig voneinander bewegbare Schieber 78, 80 bzw. 82 verstellt werden, wozu die Schieber mit Stellorganen 84, 86 und 88 versehen sind. Durch den Schieber 78 kann der Ladebeginn verändert werden, durch den Schieber 80 der Saugbeginn und durch den Schieber 82 der Saugschluß aus der Zweigleitung 40.

In Fig. 7 ist im Unterschied zur Darstellung in Fig. 5 der Rotor 62 noch mit einem zweiten Ausschnitt 65 versehen. Sobald durch entsprechende Drehung des Rotors 62 der Rotor die Verbindung zwischen dem Schlitz 70 und dem Schlitz 68 unterbrochen hat, gelangt der Ausschnitt 65 in den Bereich des Schlitzes 68 und verbindet diesen mit dem Schlitz 70. Lediglich bei einer der Vorladung entsprechenden Phasenlage des Rotors 62 gegenüber der Motorkurbelwelle ist zu diesem Zeitpunkt das Einlaßventil 14 des Motors geöffnet, so daß nun im Anschluß an die Einleitung verdichteter Ladeluft in den Zylinder 10 zu Beginn des Saughubs des Kolbens 12 noch unverdichtete Luft aus der Zweigleitung 40 angesaugt werden kann. Wird in diesem Fall jedoch eine Expansionskühlung der durch Vorladung in den Motorzylinder 10 eingeführten, verdichteten Ladeluft gewünscht, kann die Zweigleitung 40 durch ein in ihr ange-

ordnetes Absperrventil 39 geschlossen werden.

Die Fig. 8 zeigt lediglich beispielsweise, wie die Phasenlage der Öffnungsphasen des Luftsteuerventils 34 gegenüber der Kurbelwellenposition des Motors verändert werden kann. Bei der in Fig. 8 gezeigten Anordnung wird zu diesem Zweck ein beispielsweise hydraulisch in seiner Länge veränderbares Stellglied 94 benutzt, welches einerseits bei 96 an einem in Abhängigkeit von der Motorkurbelwelle angetriebenen, konzentrisch zum Rotor 62 gelagerten Hebel 90 angreift und andererseits am Rotor 62, so daß die Winkellage des Rotors 62 gegenüber dem Hebel 90 veränderbar ist. Grundsätzlich besteht aber auch die Möglichkeit, nicht den Rotor 62 zu verstehen, sondern das Ventilgehäuse 60 gegenüber dem Rotor 62.

Die Fig. 9 bis 12 zeigen eine weitere Variante des Luftsteuerventils 34. Bei dieser Bauform sind innerhalb des Ventilgehäuses 138 koaxial zueinander zwei Rotoren 130 und 132 angeordnet, wobei dem in Fig. 9 oberen Rotor 130 im Gehäuse 138 ein zum Speicher 28 führender Anschluß 66 und ein Zweig 68a eines zum Einlaßkanal 36 führenden Anschlusses 68 zugeordnet ist. Dem in Fig. 9 unteren Rotor 132 ist ein mit der Zweigleitung 40 in Verbindung stehender Anschluß 70 und ein weiterer Zweig 68b des zum Einlaßkanal 36 führenden Anschlusses 68 zugeordnet. Der Rotor 130 ist mit einem Verbindungskanal 134, der Rotor 132 mit einem Verbindungskanal 136 versehen. Zum besseren Verständnis sind in Fig. 9 die Anschlüsse 66 und 70 einerseits und der Anschluß 68 andererseits in einem Abstand von 180° dargestellt, während, wie die Fig. 10 bis 12 zeigen, diese Anschlüsse tatsächlich um etwa 90° gegeneinander versetzt sind. Ebenfalls zur Vereinfachung der Darstellung sind in den Fig. 10 bis 12 die beiden Rotoren 130 und 132 nicht in koaxialer Anordnung, sondern rein schematisch seitlich gegeneinander versetzt dargestellt.

Das Ventilgehäuse 138 wird von einer in Abhängigkeit von der Drehung der Motorkurbelwelle antreibbaren Antriebswelle 140 durchquert, welche von einer dem Rotor 132 verbundenen Hohlwelle 142 umschlossen wird, auf der ihrerseits drehbeweglich eine mit dem Rotor 130 verbundene Hohlwelle 144 angeordnet ist.

In Fig. 9 sind sowohl die Antriebswelle 140 als auch die Hohlwellen 142 und 144 nach der oberen Seite aus dem Ventilgehäuse 138 herausgeführt und dort mit sich radial erstreckenden Hebeln 146, 148 und 150 versehen, wobei durch nicht dargestellte Verstellorgane sowohl der Hebel 148 als auch der Hebel 150 unabhängig voneinander gegenüber dem Hebel 146 verstellt werden können, um die Phasenlage der Rotoren 130 und 132 unabhängig voneinander zu verändern. Die Anordnung kann aber auch so getroffen sein, daß der Hebel 148 gegenüber dem Hebel 146 und der Hebel 150 gegenüber dem Hebel 148 verstellbar ist, wobei durch entsprechende Steuerung der zwischen den Hebeln angeordneten Stellorgane ebenfalls eine unabhängige Phasenverstellung der beiden Rotoren 130 und 132 ermöglicht wird. Die Anordnung ist außerdem so getroffen, daß neben der voneinander unabhängigen Veränderung der Phasenlage der beiden Rotoren 130 und 132 gegenüber der Antriebswelle 140 auch eine gemeinsame Veränderung der Phasenlage beider Rotoren 130 und 132 gegenüber der Antriebswelle 140 möglich ist.

In Fig. 10 ist die Stellung der beiden Rotoren 130 und 132 zu Beginn des Motorsaughubs bei der sogenannten Vorladung dargestellt. Es ist angenommen, daß die Antriebswelle 140 mit der halben Kurbelwellendrehzahl umläuft. Der Verbindungskanal 134 erstreckt sich über

einen Sektor von etwa  $105^\circ$ , so daß im Falle der sogenannten Aufladung dem Motorzyylinder während des gesamten Saughubs verdichtete Ladeluft aus dem Speicher 28 zugeführt werden kann.

Bei Öffnung des Motoreinlaßventils 14 hat sich, wie Fig. 10 zeigt, die Öffnungskante des Verbindungskanals 134 bereits so weit über den Anschluß 68a hinausbewegt, daß die Verbindung zwischen dem Anschluß 66 und dem Anschlußzweig 68a nach einer weiteren Drehung der Antriebswelle 140 um etwa  $50^\circ$  unterbrochen wird, wenn der Motorkolben 12 etwas mehr als die Hälfte des Saughubs durchlaufen hat. Während über den Verbindungskanal 134 und den Einlaßkanal 36 verdichtete Ladeluft durch das Einlaßventil 14 und den Zylinder 10 strömen kann, ist die Verbindung zwischen dem Anschluß 70 und dem Anschlußzweig 68b geschlossen. Diese Verbindung wird bei der in Fig. 10 gezeigten Winkelstellung zwischen dem Rotor 130 und dem Rotor 132 geöffnet, sobald sich die Verbindung zwischen dem Anschluß 66 und dem Anschlußzweig 68a schließt, so daß im Anschluß an die Vorladung unverdichtete Ladeluft in den Motorzyylinder 10 einströmen kann, bis sich das Einlaßventil 14 schließt. Es ist aus Fig. 10 aber auch ersichtlich, daß der Rotor 132 gegenüber der dort gezeigten Stellung entgegen der Umlaufrichtung so weit verstellt werden kann, daß er einerseits bei Öffnung des Einlaßventils 14 die Verbindung zwischen Anschluß 70 und Zweig 68b bereits unterbrochen hat und daß er andererseits diese Verbindung auch während der gesamten Öffnungsduer des Einlaßventils 14 unterbrochen hält, so daß auch eine Vorladung ohne anschließendes Ansauen unverdichteter Luft möglich ist.

In Fig. 11 nimmt die Antriebswelle 140 die gleiche Winkelstellung ein wie in Fig. 10, nachdem auch dort der Zeitpunkt festgehalten ist, in welchem sich das Einlaßventil 14 öffnet. Der Rotor 130 ist gegenüber der Antriebswelle 140 entgegen der Umlaufrichtung verstellt, so daß er soeben die Verbindung zwischen dem Anschluß 66 und dem Anschlußzweig 68a freigibt. Auch die Winkelstellung des Rotors 132 gegenüber dem Rotor 130 ist verändert, so daß die Verbindung zwischen dem Anschluß 70 und dem Anschlußzweig 68b unterbrochen bleibt, solange das Einlaßventil 14 geöffnet ist. Es findet also während des gesamten Saughubs des Kolbens 12 die Zufuhr verdichteter Ladeluft zur sogenannten Aufladung statt.

In Fig. 12 ist der Rotor noch weiter entgegen der Umlaufrichtung gegenüber der Antriebswelle 140 verstellt, wobei der Rotor 132 an dieser Stellbewegung teilgenommen hat, ohne seine Lage gegenüber dem Rotor 130 zu verändern. Nachdem wieder die Situation bei Öffnung des Einlaßventils 14 dargestellt ist, erkennt man, daß die Verbindung zwischen dem Anschluß 70 und dem Anschlußzweig 68b bereits geöffnet ist, während die Verbindung zwischen dem Anschluß 66 und dem Anschlußzweig 68a noch unterbrochen ist. Der Kolben 12 saugt also zunächst unverdichtete Luft an. Die beiden Rotoren 130 und 132 nehmen eine solche Winkelstellung zueinander ein, daß der Anschluß 70 gesperrt wird, wenn der Anschluß 66 nach einer Drehung der Antriebswelle 140 um etwa  $75^\circ$  Grad, also bei Annäherung des Kolbens 12 an den unteren Totpunkt, zur sog. Nachladung geöffnet wird.

Beliebige Zwischenstellungen können jederzeit eingestellt werden.

Bei der in den Fig. 13 und 14 dargestellten Ausführungsform wird ohne einschränkende Absicht von der Situation bei einem Vierzylinder-Reihen-Motor ausge-

gangen, wobei jedem Motoreinlaßventil ein Einlaßkanal 36a, 36b, 36c und 36d zugeordnet ist. Der den Verdichterweg 20, 28, 34 (Fig. 1) umgehende Kanal 40 ist jeweils über eine Rückschlagklappe 38 mit jedem der Einlaßkanäle 36a bis 36d verbunden. Jedem der Einlaßkanäle 36a bis 36d ist in der bereits beschriebenen Weise ein Luftsteuerventil 34a bis 34d zugeordnet, um entsprechend der Zündfolge und der gewählten Phasenlage der verdichteten Ladeluft aus dem Speicher 28 den Zutritt zu den einzelnen Motorzyindern zu ermöglichen. Bei der in den Fig. 13 und 14 gezeigten Ausführungsform sind diese Luftsteuerventile 34a bis 34d zu einer gemeinsamen Baugruppe mit einem gemeinsamen Rotor 62f zusammengefaßt, der rohrförmig ausgebildet ist und in einem gemeinsamen Gehäuse 60f drehbar gelagert ist. Der Rotor 62f wird in Abhängigkeit von der Kurbelwellendrehung angetrieben, wobei jedoch durch hier nicht näher dargestellte Mittel seine Phasenlage gegenüber der Kurbelwelle veränderbar ist. Die einzelnen Einlaßkanäle 36a bis 36d sind in axialer Richtung gegeneinander versetzt an das Gehäuse 60f angeschlossen. In der entsprechenden axialen Position befinden sich im Rotor 62f den Einlaßkanälen 36a bis 36d zugeordnete Ventilöffnungen 64a bis 64d, die in Umfangsrichtung des Rotors 62f entsprechend der Zündfolge des Motorzyndler versetzt sind. Die Einrichtungen zum Antrieb des Rotors 62f und zu dessen Phasenverstellung, sowie die Verbindung des Innenraums 160 mit dem Speicherraum 28 können in beliebiger, für den Fachmann keine Schwierigkeit darstellenden Weise durchgeführt sein und sind deshalb hier nicht näher dargestellt.

Beim gezeigten Beispiel wird angenommen, daß der Rotor 62f mit der halben Kurbelwellendrehzahl angetrieben wird, so daß der Rotor 62f eine vollständige Drehung ausführen wird, während beispielsweise am Vierzylinder-Reihen-Motor die Zündfolge 1-3-4-2 einmal durchlaufen wird. In entsprechender Reihenfolge gelangen nacheinander die Ventilöffnungen 64a, 64c, 64d und 64b zur Deckung mit den Anschlüssen der Einlaßkanäle 36a, 36c, 36d und 36b.

Reduziert man die Drehzahl der Rotoren 62 oder 130 und 132 auf ein Viertel der Kurbelwellendrehzahl, so wird jeder Verbrennungsraum nur bei jedem zweiten Arbeitsspiel mit Ladeluft versorgt, so daß bei geringerem Leistungsbedarf bei konstanter Motordrehzahl der einzelne Arbeitszyklus mit höherer Zylinderfüllung und damit bei günstigerem spezifischem Kraftstoffverbrauch abläuft. Bei weiterer Senkung des Leistungsbedarfs kann die Drehzahl der Rotoren erneut halbiert werden.

Zur Vereinfachung der Darstellung wurde in der vorangegangenen Beschreibung von verdichteter bzw. unverdichteter Ladeluft gesprochen. Es kann sich dabei — wie für den Fachmann ohne weiteres erkennbar ist — auch um mit Brennstoff vermischt Ladeluft handeln.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Verbrennungsmotors der Kolbenbauart, insbesondere eines Hubkolbenmotors, bei dem jeder Verbrennungsraum über mindestens ein in Abhängigkeit von der Kolbenbewegung gesteuertes Einlaßventil mit einem Einlaßkanal verbunden ist, mit einem einen kontinuierlichen Druck erzeugenden, in einen Speicherraum fördernden Lader und einem zwischen dem Speicherraum und jedem Einlaßkanal angeordneten Luftsteuerventil, das sich in Abhängigkeit von der

Zündfrequenz der zugeordneten Verbrennungsräume öffnet und schließt, wobei die Phasenlage der Öffnungsmitte des Luftsteuerventils von der Phasengleichheit mit der Öffnungsmitte des sich jeweils öffnenden, zugeordneten Einlaßventils vor dessen Öffnungsmitte verschiebbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Phasenlage des Luftsteuerventils gegenüber dem Einlaßventil in Abhängigkeit von der gewünschten Motorbetriebsweise zwischen einer das Luftangebot aus dem Speicherraum auf den Einlaßbeginn konzentrierenden und einer dieses Luftangebot auf das Einlaßende konzentrierenden Grenzstellung verstellt wird und daß eine jeden Verbrennungsraum mit unverdichteter Ladung versorgende Leitung bei Überdruck auf der Seite des zu versorgenden Verbrennungsraums gesperrt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungsduer des Luftsteuerventils maximal etwa der Öffnungsduer des Einlaßventils bzw. der Einlaßventile eines jeden Verbrennungsraums entspricht.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungsduer des Luftsteuerventils mit zunehmender Phasenabweichung zwischen Luftsteuerventil und Einlaßventil verkürzt wird.

4. Verbrennungsmotor der Kolbenbauart, insbesondere Hubkolbenmotor, zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit mindestens einem Verbrennungsraum (10), der über mindestens ein Einlaßventil (14) mit einem Einlaßkanal (36) verbunden ist, mit einem einen kontinuierlichen Druck erzeugenden Lader (20), dessen Druckseite mit einem Speicherraum (34) verbunden ist, mit einem Luftsteuerventil (34) zwischen dem Speicherraum (28) und jedem Einlaßkanal (36), dessen Antrieb so ausgelegt ist, daß es sich in Abhängigkeit von der Zündfrequenz der zugeordneten Verbrennungsräume (10) öffnet und schließt und mit einer Einrichtung (42) zur Änderung der Phasenlage von Einlaßventil (14) und Luftsteuerventil (34) durch Verlagerung der Öffnungsmitte des sich jeweils öffnenden, zugeordneten Einlaßventils (14) vor dessen Öffnungsmitte, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (42) zur Änderung der Phasenlage geeignet ist, die Öffnungsmitte des Luftsteuerventils (34) auch hinter die Öffnungsmitte des sich jeweils öffnenden, zugeordneten Einlaßventils (14) zu verlagern und daß jeder Verbrennungsraum (10) über einen den Lader (20), den Speicherraum (28) und das Luftsteuerventil (34) umfassenden Verdichterweig umgehenden, durch ein Ventil (38) absperrbaren Kanal (40) mit unverdichteter Ladung versorgbar ist.

5. Verbrennungsmotor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Einlaßkanal (36) mit dem den Verdichterweig umgehenden Kanal (40) verbunden ist.

6. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Änderung der Phasenlage aus einem Rechner (42) besteht, dessen Eingänge (48, 52, 56) mit einem Programmspeicher (44) und Sensoren (50, 54) zur Ermittlung von Betriebskennwerten des Motors und/oder mindestens einem Steuerorgan (46) zur Eingabe von Steuerbefehlen und dessen Ausgang mit einer Stellvorrichtung für das Luft-

steuerventil (34) verbunden ist.

7. Verbrennungsmotor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Programmspeicher auswählbare Programme enthält.

8. Verbrennungsmotor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren (50, 54) am Verbrennungsraum (10) und/oder am Speicherraum (28) angeordnet und geeignet sind, den Motorbetriebszustand bzw. Druck und Temperatur im Speicherraum (28) zu ermitteln.

9. Verbrennungsmotor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuerorgan ein Fahrpedal (46) eines Kraftfahrzeugs ist.

10. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Einlaßseite (24) des Laders (20) und der ihn umgehende Kanal (40) stromauf von dem diesen Kanal (40) sperrenden Ventil (38) miteinander verbunden sind.

11. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Phasenlage von Einlaßventil (14) und Luftsteuerventil (34) stufenlos verstellbar ist.

12. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungsduer des Luftsteuerventils (34) maximal der Öffnungsduer des Lufteinlaßventils (14) entspricht.

13. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 4, 5 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungsduer des Luftsteuerventils (34) verstellbar ist.

14. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 4 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß stromauf vom Luftsteuerventil (34) ein Ladeluftkühler (30) angeordnet ist.

15. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 4 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der den Verdichterweig (20, 28, 34) umgehende Kanal (40) ein Richtungsventil (38) enthält, das nur eine Strömung in Richtung auf das Einlaßventil (14) gestattet.

16. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 4 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der den Verdichterweig (20, 28, 34) umgehende Kanal (40) in Abhängigkeit von der Stellung des Luftsteuerventils (34) sperrbar ist.

17. Verbrennungsmotor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß jedem Einlaßkanal (36) ein die Verbindung zu dem den Verdichterweig (20, 28, 34) umgehenden Kanal (40) sperrendes Ventil (38) zugeordnet ist.

18. Verbrennungsmotor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß das dem Einlaßkanal (36a; 36d; 36e) zugeordnete, die Verbindung zu dem den Verdichterweig (20, 28, 34) umgehenden Kanal (40a; 40d; 40e) sperrende Ventil (38a; 38d; 38e), das zugeordnete Luftsteuerventil (34a; 34d; 34e) und das Einlaßventil bzw. die Einlaßventile (14a; 14d; 14b; 14c) der zugeordneten Verbrennungsräume (10a; 10d; 10b; 10c) eng benachbart angeordnet sind.

19. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der den Verdichterweig (20, 28, 34) umgehende Kanal (40) ein gemeinsam mit dem Luftsteuerventil (62, 66) betätigbares Ventil (62, 70) enthält.

20. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Ventil (62, 70) in dem den Verdichterweig (20, 28, 34)

umgehenden Kanal (40) und das Luftsteuerventil (62, 66) zu einem Mehrwegeventil vereinigt sind.

21. Verbrennungsmotor nach den Ansprüchen 5 und 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrwegeventil ein Dreiwegeventil ist, dessen Anschlüsse (66, 68, 70) mit dem Speicherraum (28), dem Einlaßkanal (36) und dem den Verdichterzweig (20, 28, 34) umgehenden Kanal (40) verbunden sind. 5

22. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 4 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Luftsteuerventil einen von einem Ventilgehäuse (60) umschlossenen, als Rotationskörper ausgebildeten und in Abhängigkeit von der Drehung der Motor-Kurbelwelle kontinuierlich antreibbaren, mit einem sich gegen das Gehäuse öffnenden Verbindungskanal (64) versehenen Rotor (62) umfaßt, wobei dem Verbindungskanal (64) im Ventilgehäuse (60) in Umlaufrichtung aufeinanderfolgende Anschlüsse (66, 68) für den Speicherraum (28) und den Einlaßkanal (36) zugeordnet sind. 10 15

23. Verbrennungsmotor nach den Ansprüchen 5 und 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrwegeventil einen von einem Ventilgehäuse (60) umschlossenen, als Rotationskörper ausgebildeten und in Abhängigkeit von der Drehung der Motor-Kurbelwelle kontinuierlich antreibbaren, mit einem sich gegen das Gehäuse öffnenden Verbindungskanal (64) versehenen Rotor (62) umfaßt, wobei dem Verbindungskanal (64) im Ventilgehäuse in Umlaufrichtung aufeinanderfolgende Anschlüsse (66, 68, 70) für den Speicherraum (28), den Einlaßkanal (36) und den den Verdichterzweig (20, 28, 34) umgehenden Kanal (40) zugeordnet sind und der Anschluß für den den Verdichterzweig umgehenden Kanal (40) ein Absperrorgan enthält. 20 25 30

24. Verbrennungsmotor nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß das Absperrorgan ein Richtungsventil zur Sperrung einer Rückströmung ist.

25. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungskante (72; 122) der Verbindung (66, 64, 68) zwischen Speicherraum (28) und Einlaßkanal (36) verstellbar ist. 40

26. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 22 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Schließkante (123) der Verbindung (66, 64, 68) zwischen Speicherraum (28) und Einlaßkanal (36) verstellbar ist. 45

27. Verbrennungsmotor nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungskante (122) und die Schließkante (123) der Verbindung (66, 64, 68) zwischen Speicherraum (28) und Einlaßkanal (26) unabhängig voneinander verstellbar sind. 50

28. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Schließkante (76) der Verbindung (70, 64, 68) zwischen dem den Verdichterzweig (20, 28, 34) umgehenden Kanal (40) und dem Einlaßkanal verstellbar ist. 55

29. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungskante (74) der Verbindung (70, 64, 68) zwischen dem den Verdichterzweig (20, 28, 34) umgehenden Kanal (40) und dem Einlaßkanal (36) verstellbar ist. 60

30. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 22 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Phasenlage der Ventilöffnungszeiten gegenüber der Kur-

belwelle durch Verstellung des Rotors (62) relativ zum Ventilgehäuse (60) veränderbar ist.

31. Verbrennungsmotor nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß zwei als Rotationskörper ausgebildete und in Abhängigkeit von der Drehung der Motorkurbelwelle kontinuierlich antreibbare Rotoren (130, 132) jeweils mit einem Verbindungs-kanal (134, 136) versehen und drehbar in einem Ventilgehäuse (138) gelagert sind, wobei ein Verbindungs-kanal (134) in seiner Öffnungsstellung Anschlüsse (140, 142) für den Speicherraum (28) und den Einlaßkanal (36) und der andere Verbindungs-kanal (136) in seiner Öffnungsstellung einen Einlaß (144) und einen Auslaß (146) für den den Verdichterzweig (20, 28, 34) umgehenden Kanal (40) miteinander verbindet, daß die Phasenlage der Rotoren (130, 142) zueinander veränderbar ist und daß die Phasenlage der Ventilöffnungszeiten gegenüber der Motorkurbelwelle durch eine Verstellung der Rotoren (130, 132) relativ zum Ventilgehäuse (138) veränderbar ist.

32. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 21 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Maximaldrehzahl des Rotors (62, 130, 132) derart bemessen ist, daß auf zwei Takte des zugeordneten Motorzyinders bzw. der zugeordneten Motorzyylinder jeweils eine Ventilöffnung entfällt.

33. Verbrennungsmotor nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahl des Rotors (62, 130, 132) nach Wahl stufenweise halbierbar ist.

34. Verbrennungsmotor nach einem der Ansprüche 4 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Vierzylinder-Reihen-Viertaktmotor drei Einlaßkanäle (36a, 36b, 36c) vorgesehen sind, von denen ein Einlaßkanal (36b) den beiden mittleren Zylindern gemeinsam zugeordnet ist.

35. Verbrennungsmotor nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Luftsteuerventile (34a, 34b, 34c, 34d) zumindest einer Anzahl von Einlaßkanälen (36a, 36b, 36c, 36d) eines Motors einen gemeinsamen, rohrförmigen, in einem rohrförmigen Gehäuse (60f) drehbar gelagerten, in Abhängigkeit von der Kurbelwellendrehung antreibbaren Rotor (62f) besitzen, dessen Innenraum (160) mit dem Speicherraum (28) verbunden ist, daß am Gehäuse (60f) in axialer Richtung gegeneinander versetzt die Einlaßkanäle 36a, 36b, 36c, 36d ausmünden, daß jedem Einlaßkanal (36a – 36d) am Rotor (62f) eine Ventilöffnung (64a, 64b, 64c, 64d) zugeordnet ist, wobei, diese Öffnungen (64a – 64d) entsprechend der Zündfolge in Umfangsrichtung versetzt sind, und daß die Phasenlage des Rotors (62f) relativ zur Kurbelwelle verstellbar ist.

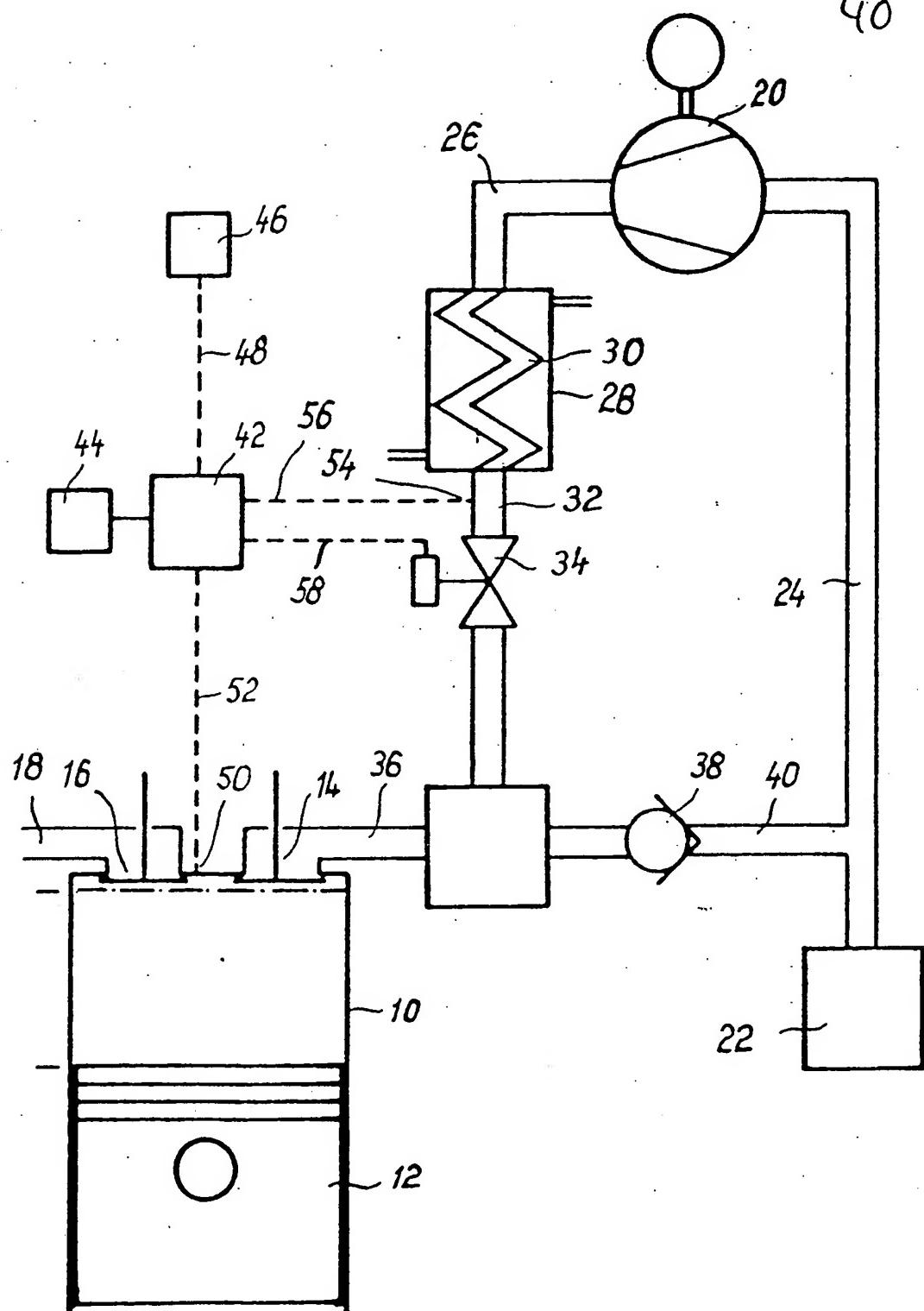
**— Leerseite —**

3737823

Nummer: 37 37 823  
Int. Cl. 4: F 02 B 33/44  
Anmeldetag: 6. November 1987  
Offenlegungstag: 10. August 1989

Fig. 2

Fig. 140; □



3737823

41-3-41/VI

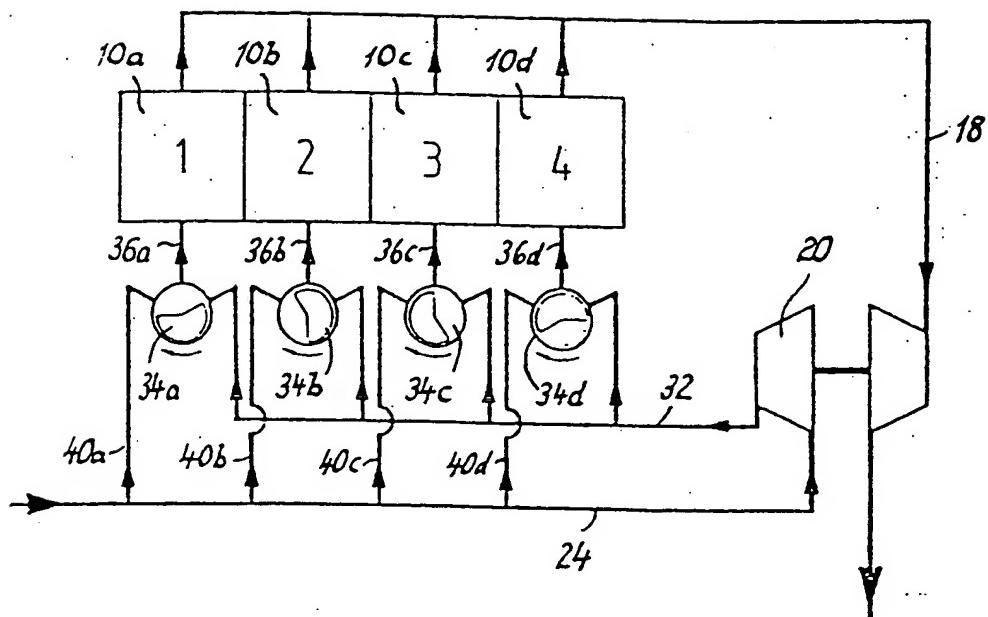
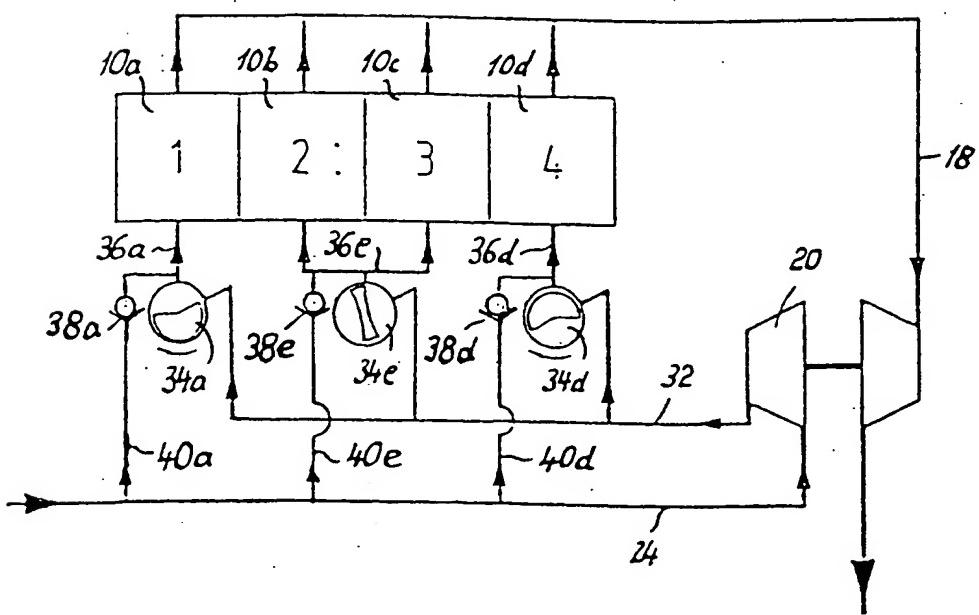


Fig. 2

Fig. 3



3737823

42...42...1

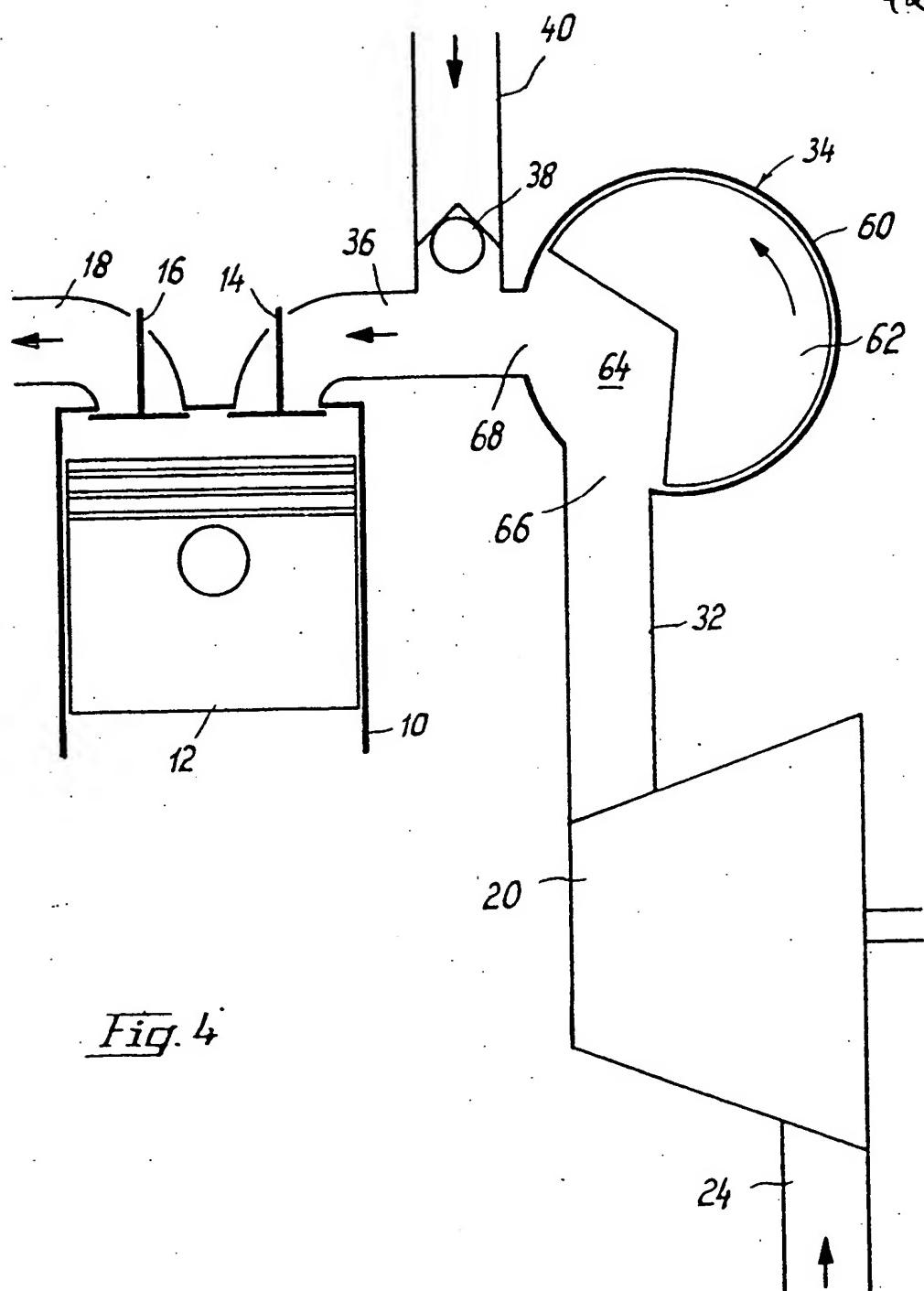


Fig. 4

3737823

43 143:20

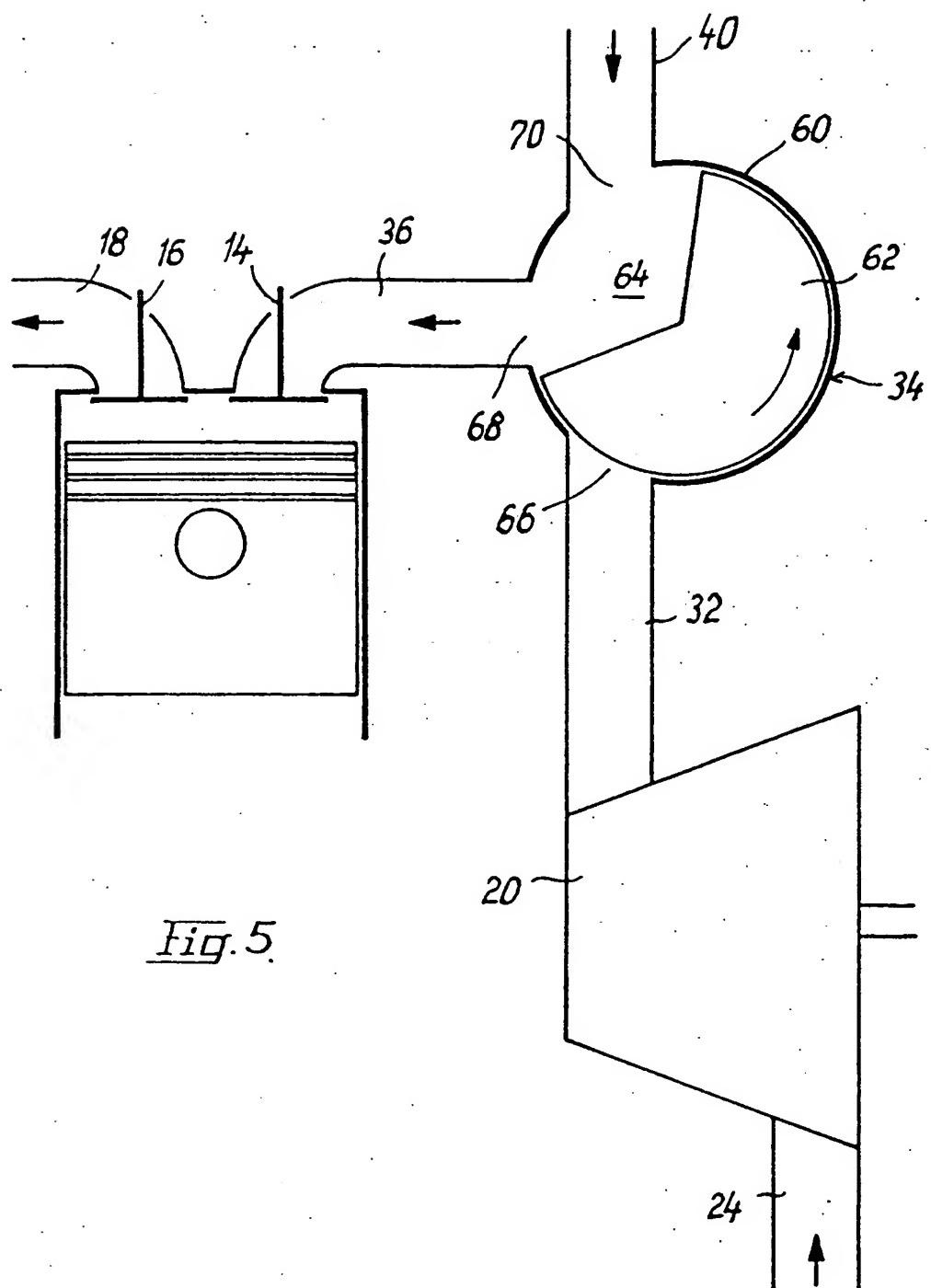
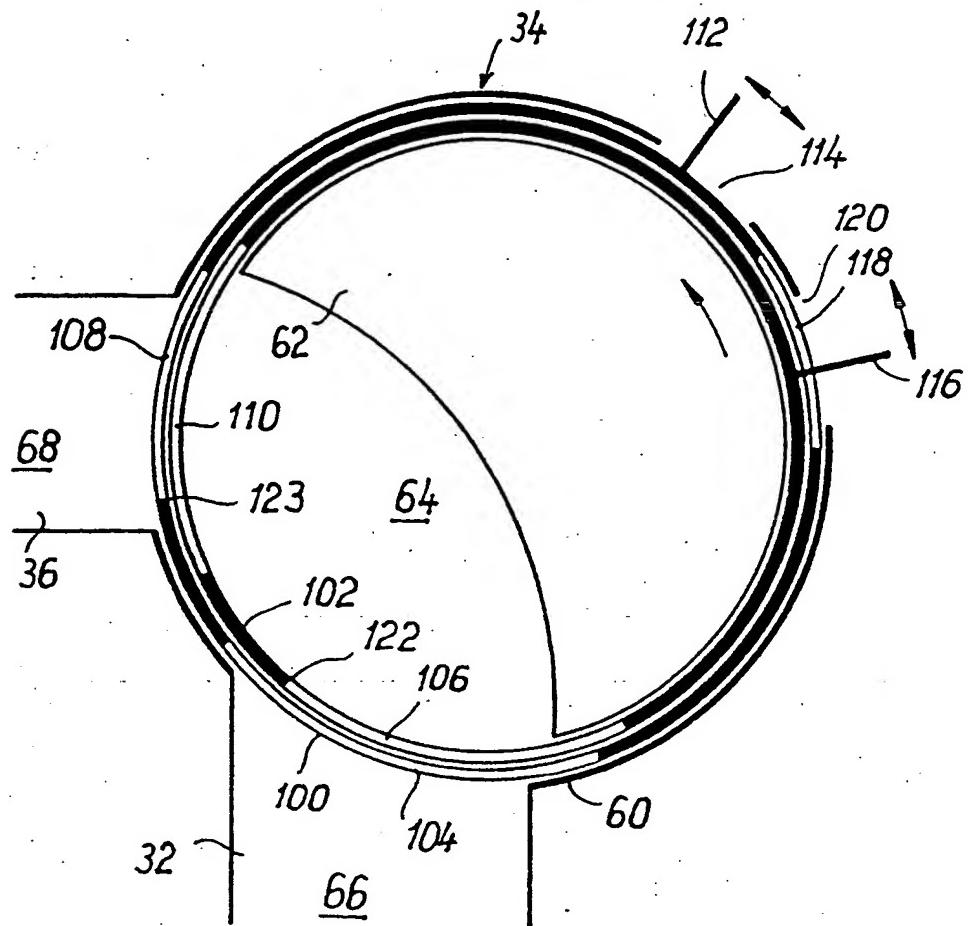


Fig. 5

3737823

Fig. 6

44 : 44 : 44



3737823

45 Fig. 45A

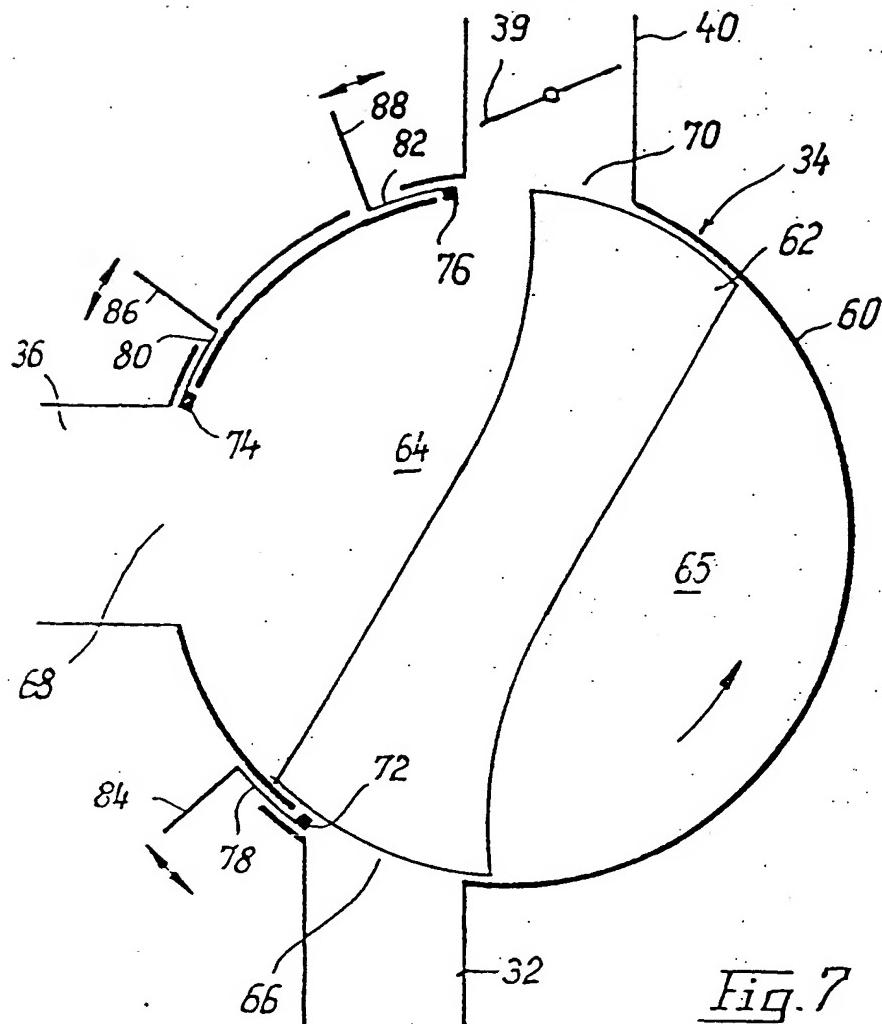


Fig. 7

3737823

46 Fig. 146:16

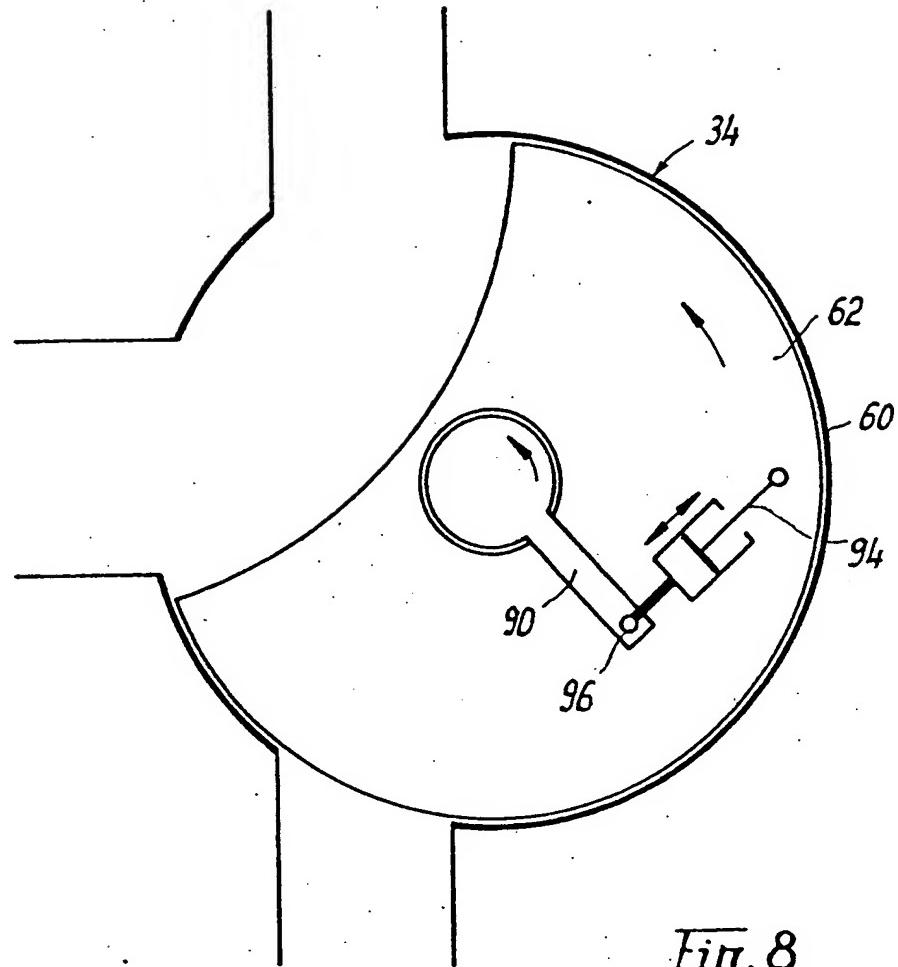


Fig. 8

3737823

47 Fig.: 47: 1

Fig. 9

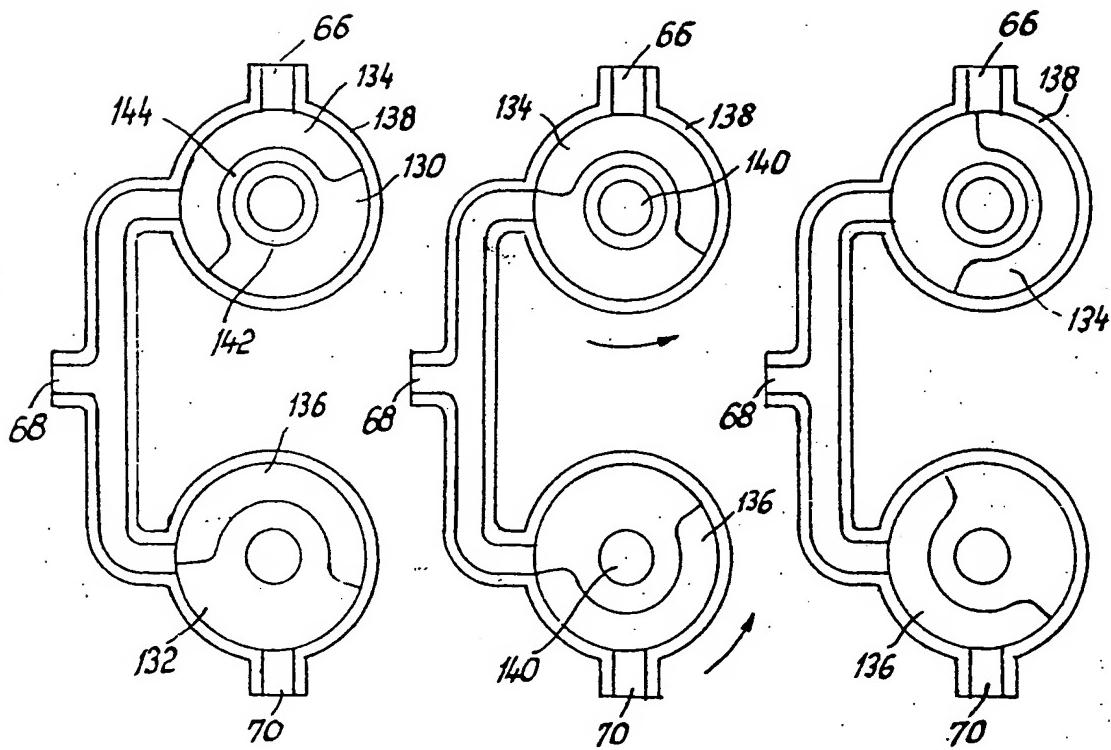
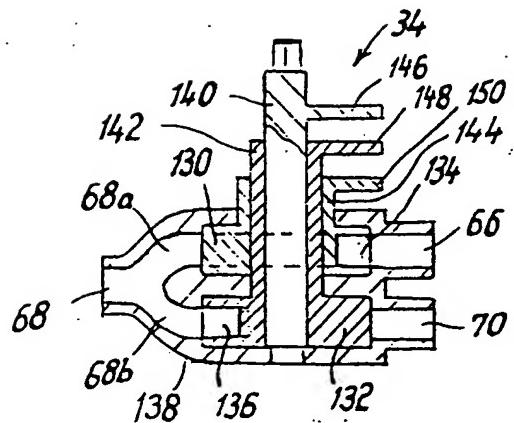


Fig. 10

Fig. 11

Fig. 12

3737823

48 Fig. 48: 16

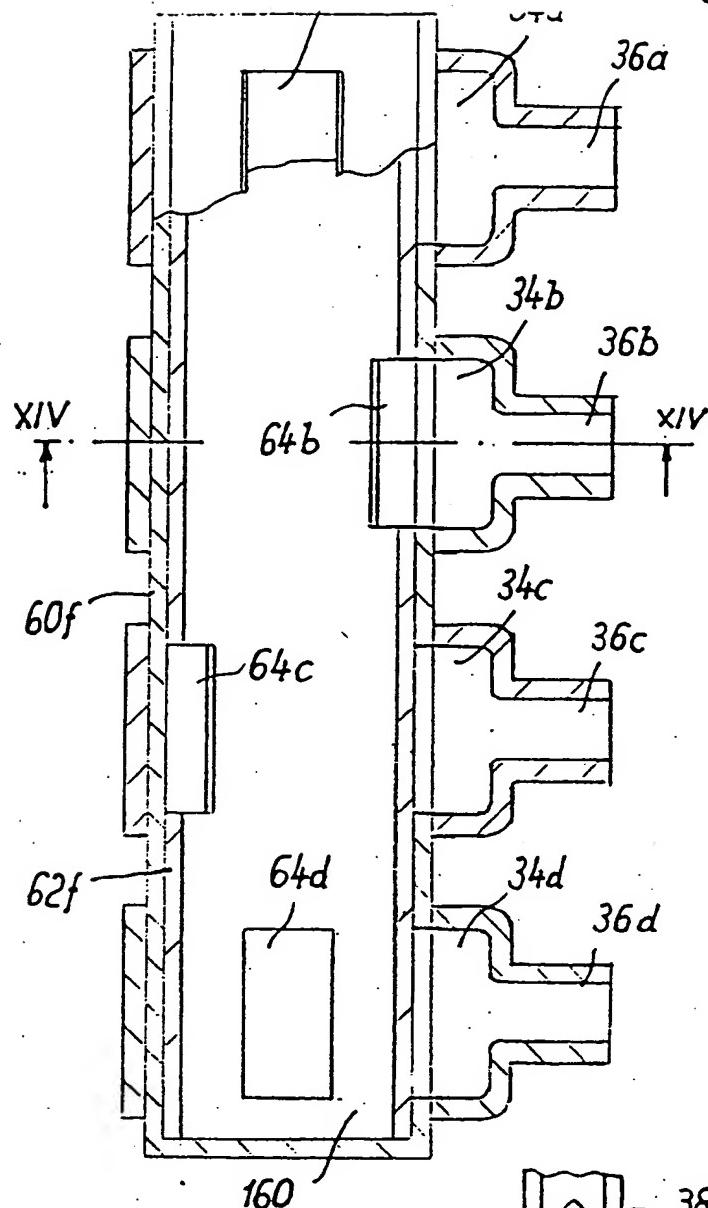


Fig. 13

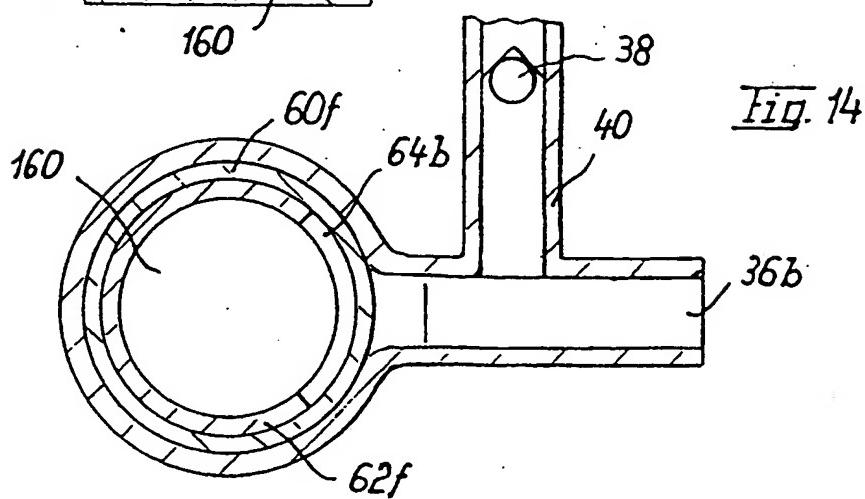


Fig. 14